

BEST AVAILABLE COPY

Docket No. 268251US6CNF

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Sylvain SCHWARTZ, et al.

GAU: 3662

SERIAL NO: 10/526,610

EXAMINER: Unassigned

FILED: March 16, 2005

FOR: STABILIZED SOLID-STATE GYROLASER WITHOUT BLIND REGION

SUBMISSION NOTICE REGARDING PRIORITY DOCUMENT(S)

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

Certified copies of the Convention Application(s) corresponding to the above-captioned matter:

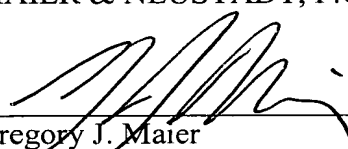
☒ are submitted herewith

☐ were filed in prior application filed

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number _____
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule
17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Gregory J. Maier
Registration No. 25,599

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 11/04)



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

BREVET D'INVENTION

~~CONFIDENTIAL DEFENSE~~
~~DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY~~

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

24 JAN. 2005

Fait à Paris, le

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Cette copie officielle ne peut être utilisée
que comme document de priorité à l'appui
de la demande de brevet correspondante aux
ETATS-UNIS sous réserve qu'elle y soit mise
au secret dans les conditions fixées
par l'article 2 de l'arrêté du 9 août 2004
prononçant la prorogation des interdictions
de divulgation et de libre exploitation de
cette invention

Martine PLANCHE

~~CONFIDENTIAL DEFENSE~~
~~DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY~~

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIÈGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75000 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg - 75800 Paris Cedex 08

Pour vous informer : INPI DIRECT

► N° Indigo 0 825 83 85 87

0,15 € TTC/mn

Télécopie : 33 (0)1 53 04 52 65

Réservé à l'INPI

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*04

CONFIDENTIEL DEFENSE

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 1/2



et imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 @ W / 030103

REMISE DES PIÈCES

DATE

16 MARS 2004

LIEU

75 INPI PARIS 34 SP

N° D'ENREGISTREMENT

0402707

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

16 MARS 2004

PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier
(facultatif)

63342

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

ou demande de certificat d'utilité initiale

N°

Date

Transformation d'une demande de
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE SANS ZONE AVEUGLE

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE
LA DATE DE DÉPÔT D'UNE
DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)

☐ Personne morale

☐ Personne physique

Nom

ou dénomination sociale

THALES

Prénoms

Forme juridique

Société Anonyme

N° SIREN

15 15 20 59 02 41

Code APE-NAF

Domicile
ou
siège

Rue

45 rue de Villiers

Code postal et ville

19 22 00 NEUILLY-SUR-SEINE

Pays

FRANCE

Nationalité

CONFIDENTIEL DEFENSE

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE **16 MARS 2004**

LIEU **75 INPI PARIS 34 SP**

N° D'ENREGISTREMENT **0402707**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 191203

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)	
Nom	BREDA
Prénom	Jean-Marc
Cabinet ou Société	THALES
Nationalité	Française
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	8325
Adresse	Rue 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville 94 11 17 ARCUEIL Cedex
	Pays FRANCE
N° de téléphone (facultatif)	01 41 48 45 77
N° de télécopie (facultatif)	01 41 48 45 01
Adresse électronique (facultatif)	jean-marc.breda@thalesgroup.com
7 INVENTEUR(S)	
Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé	<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Choix à faire obligatoirement au dépôt (cf. Notice explicative Rubrique 8)	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques	
<input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)	
<input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS	
<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint	<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe	<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	

11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

CONFIDENTIEL DEFENSE

VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

CONFIDENTIAL - DEFENSE

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)

Page N° 1.../1...

(A remplir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 210103



Vos références pour ce dossier (facultatif)		63342
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0402707
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE SANS ZONE AVEUGLE		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
THALES		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1	Nom	SCHWARTZ
	Prénoms	Sylvain
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	FEUGNET
	Prénoms	Gilles
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	POCHOLLE
	Prénoms	Jean-Paul
Adresse	Rue	THALES Intellectual Property 31-33 avenue Aristide Briand
	Code postal et ville	91411171 ARCUEIL CEDEX
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

le 15 Mars 2004

CONFIDENTIAL - DEFENSE
DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

Jean-Marc BREDAS

GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE SANS ZONE AVEUGLE

5 Le domaine de l'invention est celui des gyrolasers à état solide utilisés pour la mesure des vitesses de rotation ou des positions angulaires relatives. Ce type d'équipement est notamment utilisé pour les applications aéronautiques.

10 Le gyrolaser, mis au point il y a une trentaine d'années, est largement commercialisé et utilisé de nos jours. Son principe de fonctionnement est fondé sur l'effet Sagnac, qui induit une différence de fréquence Ω entre les deux modes optiques d'émission se propageant en sens opposé, dits contre-propageants, d'une cavité laser en anneau
15 bidirectionnelle animée d'un mouvement de rotation. Classiquement, la différence de fréquence Ω est égale à :

$$\Omega = 4A\omega/\lambda L$$

où L et A sont respectivement la longueur et l'aire de la cavité ; λ est la longueur d'onde d'émission laser hors effet Sagnac ; ω est la vitesse de
20 rotation angulaire du gyrolaser.

La mesure de Ω obtenue par analyse spectrale du battement des deux faisceaux émis permet de connaître la valeur de ω avec une très grande précision.

Le comptage électronique des franges du battement qui défilent
25 pendant un changement de position angulaire permet de connaître la valeur relative de la position angulaire également avec une très grande précision.

La réalisation des gyrolasers présente certaines difficultés techniques. Une première difficulté est liée à la qualité du battement entre les
30 deux faisceaux, qui conditionne le bon fonctionnement du laser. En effet, une bonne stabilité et une relative égalité des intensités émises dans les deux directions est nécessaire pour obtenir un battement correct. Or, dans le cas des lasers à état solide, cette stabilité et cette égalité ne sont pas assurées en raison du phénomène de compétition entre modes, qui fait que l'un des
35 deux modes contre-propageants tend à monopoliser le gain disponible, au détriment de l'autre mode. Le problème de l'instabilité de l'émission

CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

bidirectionnelle pour un laser en anneau à état solide peut être résolu par la mise en place d'une boucle de contre-réaction destinée à asservir autour d'une valeur fixée la différence entre les intensités des deux modes contre-propageants. Cette boucle agit sur le laser soit en rendant ses pertes
5 dépendantes du sens de propagation, par exemple au moyen d'un élément à rotation réciproque, d'un élément à rotation non réciproque et d'un élément polarisant (demande de brevet N° 03 03645), soit en rendant son gain dépendant du sens de propagation, par exemple au moyen d'un élément à rotation réciproque, d'un élément à rotation non réciproque et d'un cristal à
10 émission polarisée (demande de brevet N° 03 14598). Une fois asservi, le laser émet deux faisceaux contre-propageants dont les intensités sont stables, et peut être utilisé en tant que gyrolaser.

Une seconde difficulté technique est liée au domaine des faibles vitesses de rotation, le gyrolaser ne fonctionnant correctement qu'au-delà
15 d'une certaine vitesse de rotation. Aux basses vitesses de rotation, le signal de battement Sagnac disparaît en raison d'un couplage entre les deux modes contre-propageants dû à la rétrodiffusion de la lumière des divers éléments optiques présents dans la cavité. Le domaine des basses vitesses de rotation pour lequel se produit ce phénomène est communément appelé
20 zone aveugle et il correspond à une fréquence typique de battement de quelques dizaines de kiloHertz. Ce problème n'est pas intrinsèque à l'état solide. Il se rencontre également dans le domaine des gyrolasers à gaz. La solution la plus couramment adoptée pour ce dernier type de gyrolaser consiste à activer mécaniquement le dispositif en lui imprimant un
25 mouvement forcé et connu qui le place artificiellement le plus souvent possible en dehors de la zone aveugle.

L'objet de l'invention est de compléter les dispositifs optiques nécessaires au contrôle de l'instabilité des lasers à l'état solide par des
30 dispositifs optiques spécifiques permettant d'éliminer la zone aveugle. On obtient ainsi un laser à état solide « tout optique » sans pièces mobiles, stable et sans zone aveugle.

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

3
CONFIDENTIEL DEFENSE

DECLASSIFIED

ORIGINATING AGENCY

Plus précisément, l'invention a pour objet un gyrolaser permettant la mesure de la vitesse ou de la position angulaire selon un axe de rotation déterminé, comportant au moins :

- une cavité optique en anneau ;
 - un milieu amplificateur à l'état solide ;
 - un dispositif d'asservissement comprenant au moins un premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur linéaire, d'un premier rotateur optique à effet non réciproque et d'un élément optique, ledit élément étant soit un rotateur optique à effet réciproque, soit un élément biréfringent,
- au moins l'un des effets ou la biréfringence étant réglable ;
- et un dispositif de mesure ;

caractérisé en ce que ladite cavité comporte également :

- un deuxième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde, d'un second rotateur optique à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde dont les axes principaux sont perpendiculaires à ceux de la première lame quart d'onde ;
- de telle sorte qu'un premier mode de propagation polarisé linéairement puisse se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un second mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au premier mode puisse se propager en sens inverse dans la cavité, les axes principaux de la première lame quart d'onde et de la seconde lame quart d'onde étant inclinés d'environ 45 degrés par rapport aux directions de polarisation linéaires des modes de propagation et tournés de 90 degrés entre eux, les fréquences optiques des deux modes étant différentes.

Avantageusement, la cavité comporte un second polariseur linéaire dont l'axe est parallèle à celui du premier polariseur linéaire et disposé de telle sorte que l'ensemble optique constitué par le premier rotateur optique à effet non réciproque et par l'élément optique soient situés entre le premier et le second polariseur.

L'invention a également pour objet un gyrolaser permettant la mesure de la vitesse ou de la position angulaire selon un axe de rotation déterminé, comportant au moins :

- une cavité optique en anneau ;
- un milieu amplificateur à l'état solide ;
- et un dispositif de mesure ;

ORIGINATING AGENCY

CONFIDENTIEL DEFENSE

caractérisé en ce que ladite cavité comporte également :

- un dispositif d'asservissement comprenant au moins un premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur linéaire et d'un rotateur optique à effet non réciproque réglable ;
- 5 • un deuxième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde, d'un second rotateur optique à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde, l'axe de la première lame étant incliné d'un angle différent de 45 degrés par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire, l'axe de la seconde lame étant incliné à
10 environ 45 degrés par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire,
de telle sorte qu'un premier mode de propagation puisse se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un second mode de propagation puisse se propager en sens inverse dans la cavité, les fréquences optiques des
15 deux modes étant différentes.

Avantageusement, un système de mesure de vitesses ou de positions angulaires selon trois axes différents, peut comporter trois gyrolasers selon l'invention, orientés selon des directions différentes et montés sur une structure mécanique commune.

20

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- 25 • la figure 1 représente un schéma général du gyrolaser selon l'invention ;
- la figure 2 représente le principe de fonctionnement d'un rotateur optique à effet réciproque ;
- la figure 3 représente le principe de fonctionnement d'un rotateur optique à effet non réciproque ;
- 30 • la figure 4 représente le principe de fonctionnement de la combinaison d'un polariseur, d'un rotateur optique à effet réciproque et d'un rotateur optique à effet non réciproque ;
- la figure 5 représente le principe de fonctionnement d'un ensemble constitué d'une première lame quart d'onde, d'un second rotateur

CONFIDENTIEL DEFENSE

optique à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde ;

- la figure 6 représente le fonctionnement d'une première variante d'un gyrolaser selon l'invention ;
- 5 • la figure 7 représente le fonctionnement d'une seconde variante d'un gyrolaser selon l'invention.

Les dispositifs spécifiques selon l'invention doivent remplir deux fonctions spécifiques :

- 10 • Permettre l'asservissement en intensité des modes contre-propageants ;
- Supprimer la zone aveugle.

Pour remplir ces différentes fonctions, le dispositif génère à
15 l'intérieur de la cavité deux modes optiques à des fréquences différentes. Le premier mode de propagation tourne dans la cavité dans un premier sens de propagation. Le second mode tourne dans le sens de propagation inverse.

La différence de fréquence et l'asservissement d'intensité de ces deux modes sont obtenus au moyen du gyrolaser selon l'invention
20 représenté en figure 1. Il comporte essentiellement :

- une cavité optique 1 en anneau ;
- un milieu amplificateur 2 à l'état solide ;
- un dispositif de mesure 6 ;
- un dispositif d'asservissement 3 comprenant au moins un
25 premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur linéaire 7, d'un premier rotateur optique à effet non réciproque 6 et d'un élément optique qui est dans le cas présent un rotateur optique à effet réciproque 5 , au moins l'un des effets étant réglable, la commande de réglage des effets des rotateurs est représentée sur la figure 1 par des flèches en pointillés ;
- 30 • un deuxième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde 8, d'un second rotateur optique à effet non réciproque 9 et d'une seconde lame quart d'onde 10 dont les axes principaux sont perpendiculaires à ceux de la première lame quart d'onde ;
de telle sorte qu'un premier mode de propagation polarisé linéairement
35 puisse se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un second

CONFIDENTIEL DEFENSE

mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au premier mode puisse se propager en sens inverse dans la cavité, les axes principaux de la première lame quart d'onde et de la seconde lame quart d'onde étant inclinés d'environ 45 degrés par rapport aux directions de polarisation linéaires des modes de propagation et formant entre eux un angle d'environ 90 degrés, les fréquences optiques des deux modes étant différentes.

Le premier ensemble optique comprend un rotateur optique à effet réciproque 5 et un rotateur optique à effet non réciproque 6. Une rotation optique de la polarisation d'une onde est dite non réciproque lorsque les effets de rotation de la polarisation se cumulent après un aller-retour de ladite onde dans un composant optique présentant cet effet. Le composant optique est appelé rotateur optique à effet non réciproque. Par exemple, les matériaux à effet Faraday sont des matériaux qui, lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique, font tourner le plan de polarisation des faisceaux qui les traversent. Cet effet n'est pas réciproque. Ainsi, le même faisceau venant en sens inverse subira une rotation de son plan de polarisation dans le même sens. Ce principe est illustré en figure 3. Les sens de propagation sont indiqués par des flèches horizontales sur cette figure. La direction de polarisation du faisceau polarisé linéairement 101 subit une rotation d'un angle β lorsqu'elle traverse le composant 6 à effet Faraday dans le sens direct (schéma supérieur de la figure 3). Si l'on réinjecte dans le composant à effet Faraday un faisceau identique 102 se propageant dans le sens opposé et dont la direction de polarisation est initialement tournée de β , sa direction de polarisation tourne à nouveau de l'angle β en traversant le composant, l'angle de rotation total faisant alors 2β après un aller-retour (schéma inférieur de la figure 3).

Dans un rotateur classique 5 à effet réciproque, la direction de polarisation du faisceau 101 tourne de $+\alpha$ dans le sens direct et la direction de polarisation du faisceau 102 tourne de $-\alpha$ dans le sens inverse de propagation, de façon à retrouver la direction initiale de polarisation comme illustré sur les schémas de la figure 2.

Le fonctionnement du premier ensemble optique est représenté en figure 4.

CONFIDENTIEL DEFENSE

Dans le type de cavité selon l'invention, les états propres des modes contre-propageants sont polarisés linéairement selon un axe parallèle à l'axe du polariseur 7. Dans le sens direct, le premier mode optique 101 traverse d'abord le rotateur à effet réciproque 5 puis le premier rotateur à effet non réciproque 6, et enfin le polariseur 7. Par conséquent, sa direction de polarisation tourne d'un angle α après la traversée du premier élément, et d'un angle égal à $\alpha + \beta$ après la traversée du second élément. En traversant le polariseur 7, le mode est donc atténué d'un facteur $\cos^2(\alpha + \beta)$. Dans le sens inverse, le second mode optique sera également atténué par le polariseur 7 après avoir fait un tour complet. On démontre que ce second facteur vaut $\cos^2(\alpha - \beta)$. Par conséquent, l'atténuation des modes est différente selon leur sens de propagation et dépend directement de l'importance des effets subis par la polarisation des deux modes. Il est ainsi possible de faire varier de façon différente les intensités des modes contre-propageants en faisant varier au moins l'une des deux valeurs α ou β des effets subis par les polarisations des deux modes au moyen du dispositif d'asservissement. On réalise ainsi l'asservissement de l'intensité des différents modes à une valeur constante.

Le fonctionnement du second ensemble optique est représenté en figure 5. Lorsqu'un mode optique polarisé linéairement 101 (flèche droite sur la figure 5) traverse la première lame quart d'onde 8, si l'axe principal de cette lame, représenté par une flèche double, est incliné de 45 degrés sur la direction de polarisation, alors la polarisation du mode sort avec une polarisation circulaire droite (flèche semi-circulaire pleine sur la figure 5). Cette onde polarisée circulairement subit un déphasage non réciproque d lorsqu'elle traverse le second rotateur optique non réciproque 9. Elle est ensuite de nouveau transformée en onde polarisée linéairement par la seconde lame quart d'onde 10 dont l'axe principal est perpendiculaire à l'axe principal de la première lame quart d'onde. On a ainsi introduit un déphasage non réciproque sur le mode traversant ce quatrième ensemble optique tout en conservant la polarisation linéaire de l'onde.

Il est donc possible au moyen des dispositifs précédents de générer à l'intérieur de la cavité deux modes circulant en sens opposé l'un de

CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

l'autre, de les atténuer de façon variable et contrôlée pour les maintenir au même niveau d'intensité et d'introduire également des déphasages réciproques et non réciproques sur lesdits modes. Pour déterminer les modes propres et leurs fréquences, on utilise le formalisme des matrices de Jones. Celui-ci consiste à représenter l'influence d'un composant optique sur un mode optique de propagation par une matrice 2x2 référencée dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des modes optiques.

Pour connaître l'influence résultante de l'ensemble des composants intra-cavité, il suffit alors de déterminer les états propres du produit des différentes matrices représentatives de ces composants. Ce produit n'étant pas nécessairement commutatif, la matrice pourra être différente selon le sens de propagation des faisceaux.

Les matrices des différents éléments optiques présents dans la cavité sont les suivantes :

15

Pour un rotateur à effet réciproque parcouru dans un premier sens de rotation appelé sens direct, la matrice $R_+(\alpha)$ s'écrit :

$$R_+(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

Pour un rotateur à effet réciproque parcouru dans un second sens de rotation appelé sens inverse, la matrice $R_-(\alpha)$ s'écrit :

$$R_-(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}$$

Pour un rotateur à effet non réciproque, la matrice $F(\beta)$ est indépendante du sens de propagation s'écrit :

$$F(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{pmatrix}$$

25

Pour un polariseur, la matrice P s'écrit :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Pour une lame quart d'onde tournée à 45 degrés, la matrice L_1 s'écrit :

$$L_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -i \\ -i & 1 \end{pmatrix}$$

CONFIDENTIEL DEFENSE

CONFIDENTIAL DEFENSE

Pour une lame quart d'onde tournée à 135 degrés, la matrice L_2 s'écrit :

$$L_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{pmatrix}$$

Les matrices M_+ et M_- représentatives de l'ensemble des dispositifs optiques présents dans la cavité pour les modes se propageant dans le sens direct et dans le sens inverse s'obtiennent par simple multiplication :

$$M_+ = P.R_+(\alpha).F(\beta).L_1.F(d).L_2$$

$$\text{Et } M_- = L_2.F(d).L_1.F(\beta).R_-(\alpha).P$$

Soit encore

$$M_+ = \begin{pmatrix} \cos(\alpha + \beta)e^{-id} & -\sin(\alpha + \beta)e^{id} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

et

$$M_- = \begin{pmatrix} \cos(\alpha - \beta)e^{id} & 0 \\ -\sin(\alpha - \beta)e^{-id} & 0 \end{pmatrix}$$

La connaissance des matrices M_+ et M_- permet de déterminer les états propres des modes optiques susceptibles de se propager dans la cavité. Il existe un état propre de valeur propre non nulle selon chaque sens de propagation que l'on note (+) et (-) :

Les modules de (+) et de (-) étant différents selon le sens de propagation, il est possible en faisant varier un des deux coefficients α ou β d'asservir les modes contre-propageants à une intensité constante.

En l'absence de rotation du gyrolaser, la fréquence ν d'un mode optique dans une cavité laser en anneau de longueur L est classiquement liée au déphasage φ subi par ce mode après chaque tour de cavité par la relation :

$$\nu = \frac{c}{L} \left(n - \frac{\varphi}{2\pi} \right) \text{ avec } n \text{ entier et } c \text{ vitesse de la lumière}$$

Les deux modes étant déphasés d'un angle $2d$, la différence de fréquence $\Delta\nu$ existant entre les deux modes vaut :

CONFIDENTIAL DEFENSE

CONFIDENTIEL DEFENSE

$$\Delta \nu = \frac{d.c}{\pi L}$$

- Par conséquent, si cette différence est suffisamment importante, le couplage des deux modes (+) et (-) ne se produit pas. Le choix de la valeur de $\Delta \nu$ est fixé par le domaine d'utilisation souhaité pour le gyrolaser.
- 5 Pour assurer cette condition, il suffit alors de dimensionner convenablement les paramètres optiques et géométriques du rotateur non réciproque.

- Lorsque la cavité est en rotation, les fréquences propres sont décalées par effet Sagnac d'une fréquence égale à $\pm \Omega/2$, le signe dépendant du sens de propagation du mode. La différence de fréquence devient dans
- 10 ce cas $\Delta \nu_s$:

$$\Delta \nu_s = \frac{d.c}{2\pi L} + \Omega$$

- Connaissant $\Delta \nu$ qui ne dépend que de paramètres connus et $\Delta \nu_s$ que l'on mesure, on retrouve ainsi la fréquence de battement Ω qui permet de déterminer la vitesse de rotation angulaire. Le comptage électronique des franges du battement qui défilent pendant un changement de position angulaire permet de connaître la valeur relative de la position angulaire également avec une très grande précision.

20

Les différentes opérations permettant de déterminer la différence de fréquence $\Delta \nu_s$ sont effectuées par le dispositif de mesure qui comporte :

- des moyens optiques permettant de faire interférer d'une part le premier mode de propagation avec le second mode de propagation ;
- 25 • des moyens opto-électroniques permettant de déterminer la différence de fréquence optique $\Delta \nu_s$ entre le premier mode de propagation et le second mode de propagation ;
- des moyens électroniques permettant de calculer la fréquence de battement Ω ou de compter les franges du signal de battement.

30

Il est possible que les axes optiques des lames quart d'onde ne soient pas parfaitement alignés. Dans ce cas, la différence entre les fréquences des modes contre-propageants comporte des termes parasites liés aux effets non réciproques susceptibles de fausser la mesure. Une façon

CONFIDENTIEL DEFENSE

simple de résoudre ce problème est illustrée en figure 6. La cavité comporte un second polariseur 12 dont l'axe est parallèle à celui du premier polariseur. Ainsi, l'ensemble optique constitué par le premier rotateur optique à effet non réciproque et par l'élément optique sont disposés entre le premier et le

5 second polariseur.

Dans ce cas, lorsque les axes des lames quart d'onde sont parfaitement alignés à 45 degrés des axes des polariseurs, les matrices de Jones de cette nouvelle configuration s'écrivent, avec les mêmes notations que précédemment :

10
$$M_+ = P.R_+(\alpha).F(\beta).P.L_1.F(d).L_2$$

Et
$$M_- = L_2.F(d).L_1.P.F(\beta).R_-(\alpha).P$$

Soit encore

$$M_+ = \begin{pmatrix} \cos(\alpha + \beta)e^{-id} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

15 et

$$M_- = \begin{pmatrix} \cos(\alpha - \beta)e^{id} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Bien entendu, les modes de propagation ont les mêmes fréquences et les mêmes modules que précédemment.

Lorsque les axes des lames quart d'onde ne sont plus

20 parfaitement alignés, on note ϕ l'angle que fait l'axe de la première lame quart d'onde avec celui des polariseurs avec :

$\phi = \pi/4 + \theta$. θ étant l'angle de désalignement

On démontre alors que la matrice de Jones $L_3(\phi)$ associée à une telle lame quart d'onde vaut :

25
$$L_3(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1+i-2i\cos^2(\phi) & -2i\cos(\phi)\sin(\phi) \\ -2i\cos(\phi)\sin(\phi) & 1+i-2i\sin^2(\phi) \end{pmatrix}$$

Dans ce cas, les matrices de Jones deviennent :

$$M_+ = P.R_+(\alpha).F(\beta).P.L_1.F(d).L_3(\phi)$$

Et
$$M_- = L_3(\phi).F(d).L_1.P.F(\beta).R_-(\alpha).P$$

30 Soit encore

$$M_+ = \begin{pmatrix} \cos(\theta)e^{-i\theta} \cos(\alpha + \beta)e^{-id} & \sin(\theta)e^{-i\theta} \cos(\alpha + \beta)e^{-id} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

et

$$M_- = \begin{pmatrix} \cos(\theta)e^{-i\theta} \cos(\alpha - \beta)e^{i\delta} & 0 \\ \sin(\theta)e^{-i\theta} \cos(\alpha - \beta)e^{i\delta} & 0 \end{pmatrix}$$

Comme on le voit, le désalignement introduit un déphasage supplémentaire. Cependant, ce déphasage étant identique sur les deux modes contre-propageants, il n'a pas d'effets sur le déphasage relatif entre les deux modes contrepropageants qui reste égal à δ . Le désalignement introduit également des pertes supplémentaires. Cependant, si l'angle de désalignement θ reste faible, ces pertes sont sans conséquence sur l'asservissement des modes:

Par conséquent, l'introduction du second polariseur 12 dans la cavité élimine les effets parasites dus à un mauvais alignement des lames quart d'onde en rendant totalement indépendants le dispositif de contrôle des intensités et le biais introduit par le déphaseur.

Les lames quart d'onde sont des composants optiques présentant un effet réciproque. Par conséquent, il est possible de réaliser, comme illustré en figure 7, une cavité comportant un dispositif d'asservissement comprenant au moins :

- un premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur 7 linéaire et d'un rotateur optique 6 à effet non réciproque réglable, le rotateur réciproque n'étant plus nécessaire dans cette configuration ;
- un deuxième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde 8, d'un second rotateur optique 9 à effet non réciproque et d'une seconde lame quart d'onde 10, l'axe de la première lame 8 étant incliné d'un angle ϕ par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire avec :

$$\phi = \pi/4 + \theta. \quad \theta \text{ étant différent de } 0.$$

l'axe de la seconde lame 10 étant incliné à environ 45 degrés par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire et à environ 90 degrés par rapport à l'axe de la première lame 8.

On connaît la matrice de Jones $L_3(\phi)$ associée à la première lame. Les matrices de Jones de cette configuration s'écrivent, avec les mêmes notations que précédemment, :

$$M_+ = F(\beta).L_3(\phi).F(d).L_2.P$$

$$\text{Et } M_- = P.L_2.F(d).L_3(\phi).F(\beta)$$

On démontre que la première matrice admet comme valeur
5 propre :

$$\lambda_+ = \cos(\beta + \theta)e^{i(\theta+d)}$$

et que la seconde matrice admet comme valeur propre :

$$\lambda_- = \cos(\beta - \theta)e^{i(\theta-d)}$$

10 Par conséquent, avec cet agencement optique, la modulation d'intensité des modes ainsi que le déphasage sont différents selon le sens de propagation du mode. On obtient bien le même effet que celui obtenu avec le premier mode de réalisation avec un composant optique en moins.

Dans ces différentes réalisations, le rotateur non réciproque peut
15 être un rotateur Faraday constitué d'un barreau d'un matériau qui peut être par exemple de TGG (acronyme de Terbium Gadolinium Grenat) ou de YAG (acronyme de Yttrium Aluminium Grenat). Le barreau est placé dans le champ magnétique d'un aimant pour obtenir un effet non réciproque constant ou d'un solénoïde pour obtenir un effet variable commandé par le système
20 d'asservissement. Avantagusement, dans le cas d'un biais constant, le matériau pourra être utilisé à saturation pour limiter les fluctuations.

Le rotateur réciproque peut être un élément optiquement actif. Il peut également être remplacé par une lame d'onde ou un deuxième élément
25 optique polarisant. Il peut également être obtenu au moyen d'une cavité non planaire par un agencement particulier des miroirs de la cavité de façon que la propagation des faisceaux optiques ne s'effectue pas dans un plan. L'effet du rotateur peut être soit constant soit variable, commandé alors par le système d'asservissement (demande de brevet n° 03 03645).

30 Il est, bien entendu possible d'assembler plusieurs gyrolasers selon l'invention pour réaliser un système de mesure de vitesses angulaires ou de positions angulaires relatives selon trois axes différents, comportant, par exemple, trois gyrolasers montés sur une structure mécanique commune.

CONFIDENTIEL DEFENSE

RENDICATIONS

- 5 1. Gyrolaser permettant la mesure de la vitesse angulaire ou de la position angulaire relative selon un axe de rotation déterminé, comportant au moins :
- une cavité optique (1) en anneau ;
 - un milieu amplificateur (2) à l'état solide ;
 - 10 • un dispositif d'asservissement (3) comprenant au moins un premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur linéaire (7), d'un premier rotateur optique (6) à effet non réciproque et d'un élément optique, ledit élément optique étant soit un rotateur optique à effet réciproque (5) soit un élément biréfringent, au moins l'un des effets ou la biréfringence étant
 - 15 réglable ;
 - et un dispositif de mesure (6) ;
- caractérisé en ce que ladite cavité (1) comporte également :
- un deuxième ensemble optique constitué successivement
 - 20 d'une première lame quart d'onde (8), d'un second rotateur optique à effet non réciproque (9) et d'une seconde lame quart d'onde (10) dont les axes principaux sont perpendiculaires à ceux de la première lame quart d'onde ;
 - de telle sorte qu'un premier mode de propagation polarisé linéairement puisse se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un second mode de propagation polarisé linéairement parallèlement au premier mode
 - 25 puisse se propager en sens inverse dans la cavité, les axes principaux de la première lame quart d'onde et de la seconde lame quart d'onde étant inclinés d'environ 45 degrés par rapport aux directions de polarisation linéaires des modes de propagation, les fréquences optiques des deux modes étant différentes.
 - 30
2. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cavité comporte un second polariseur linéaire dont l'axe est parallèle à celui du premier polariseur linéaire et disposé de telle sorte que l'ensemble optique constitué par le premier rotateur optique (6) à effet non réciproque et

CONFIDENTIEL DEFENSE

15
DECLASSIFIED BY 15
ORIGINATING AGENCY
CONFIDENTIEL DEFENSE

par l'élément optique (5) soient disposés entre le premier et le second polariseur.

3. Gyrolaser permettant la mesure de la vitesse angulaire selon un
5 axe de rotation déterminé, comportant au moins :

- une cavité optique (1) en anneau ;
- un milieu amplificateur (2) à l'état solide ;
- et un dispositif de mesure (6) ;

caractérisé en ce que ladite cavité (1) comporte également :

10 • un dispositif d'asservissement (3) comprenant au moins un premier ensemble optique constitué d'un premier polariseur linéaire (7) et d'un rotateur optique à effet non réciproque (5) réglable ;

• un deuxième ensemble optique constitué successivement d'une première lame quart d'onde (8), d'un second rotateur optique à effet
15 non réciproque (9) et d'une seconde lame quart d'onde (10), l'axe de la première lame étant incliné d'un angle différent de 45 degrés par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire, l'axe de la seconde lame étant incliné à environ 45 degrés par rapport à la direction de polarisation du polariseur linéaire,

20 de telle sorte qu'un premier mode de propagation puisse se propager dans un premier sens dans la cavité et qu'un second mode de propagation puisse se propager en sens inverse dans la cavité, les fréquences optiques des deux modes étant différentes.

25 4. Système de mesure de vitesses angulaires ou de positions angulaires relatives selon trois axes différents, caractérisé en ce qu'il comporte trois gyrolasers selon l'une des revendications précédentes, orientés selon des directions différentes et montés sur une structure mécanique commune.

30

DECLASSIFIED BY 15
ORIGINATING AGENCY
CONFIDENTIEL DEFENSE

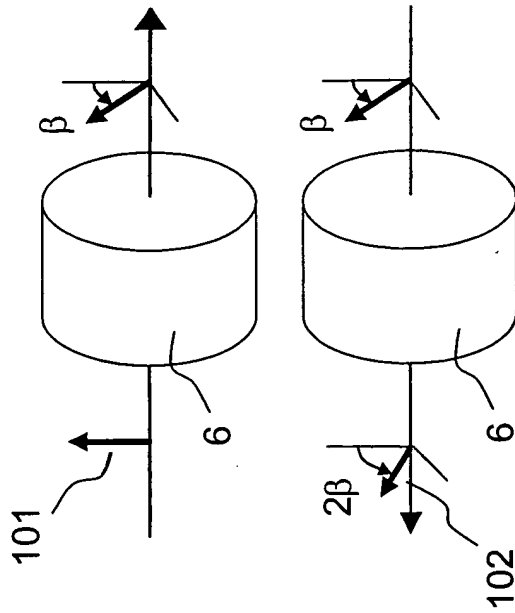


FIG.3

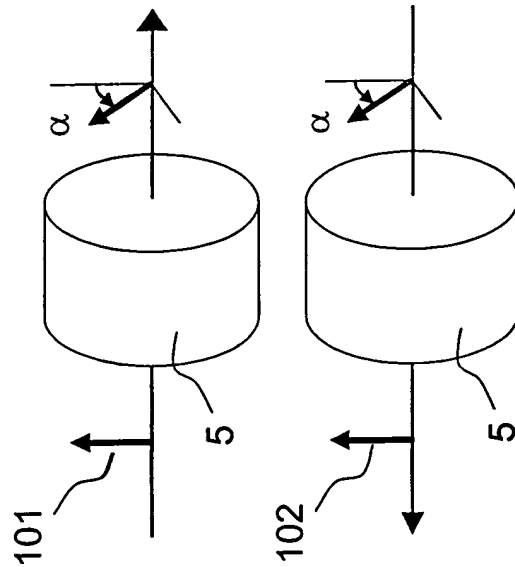


FIG.2

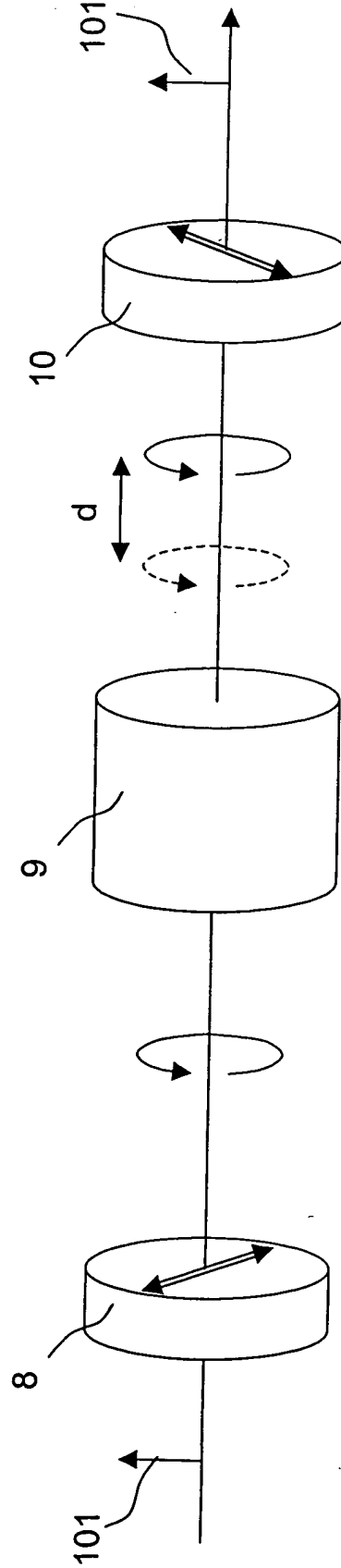
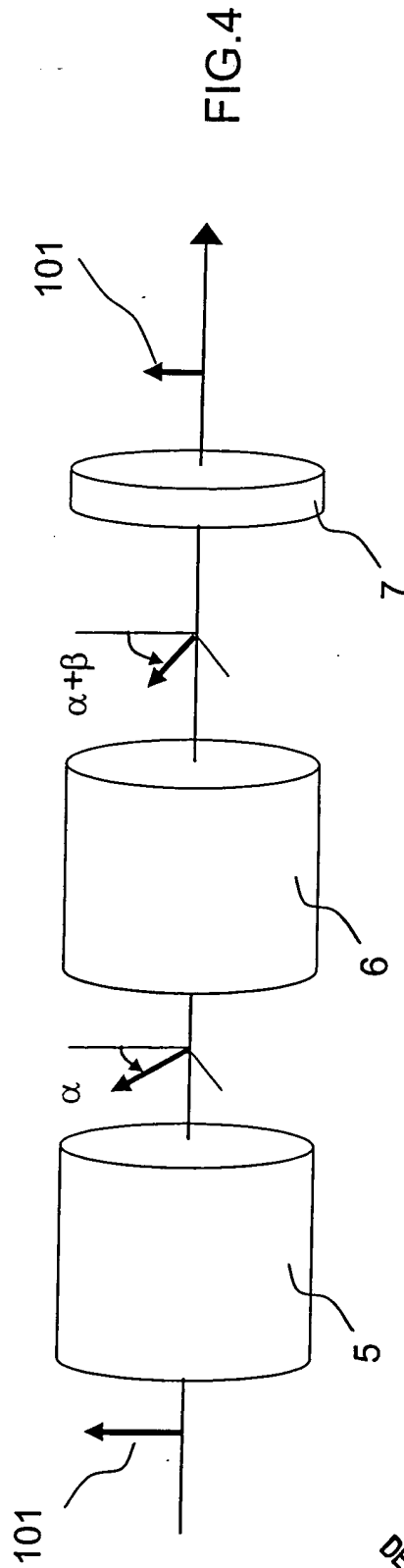


FIG.5

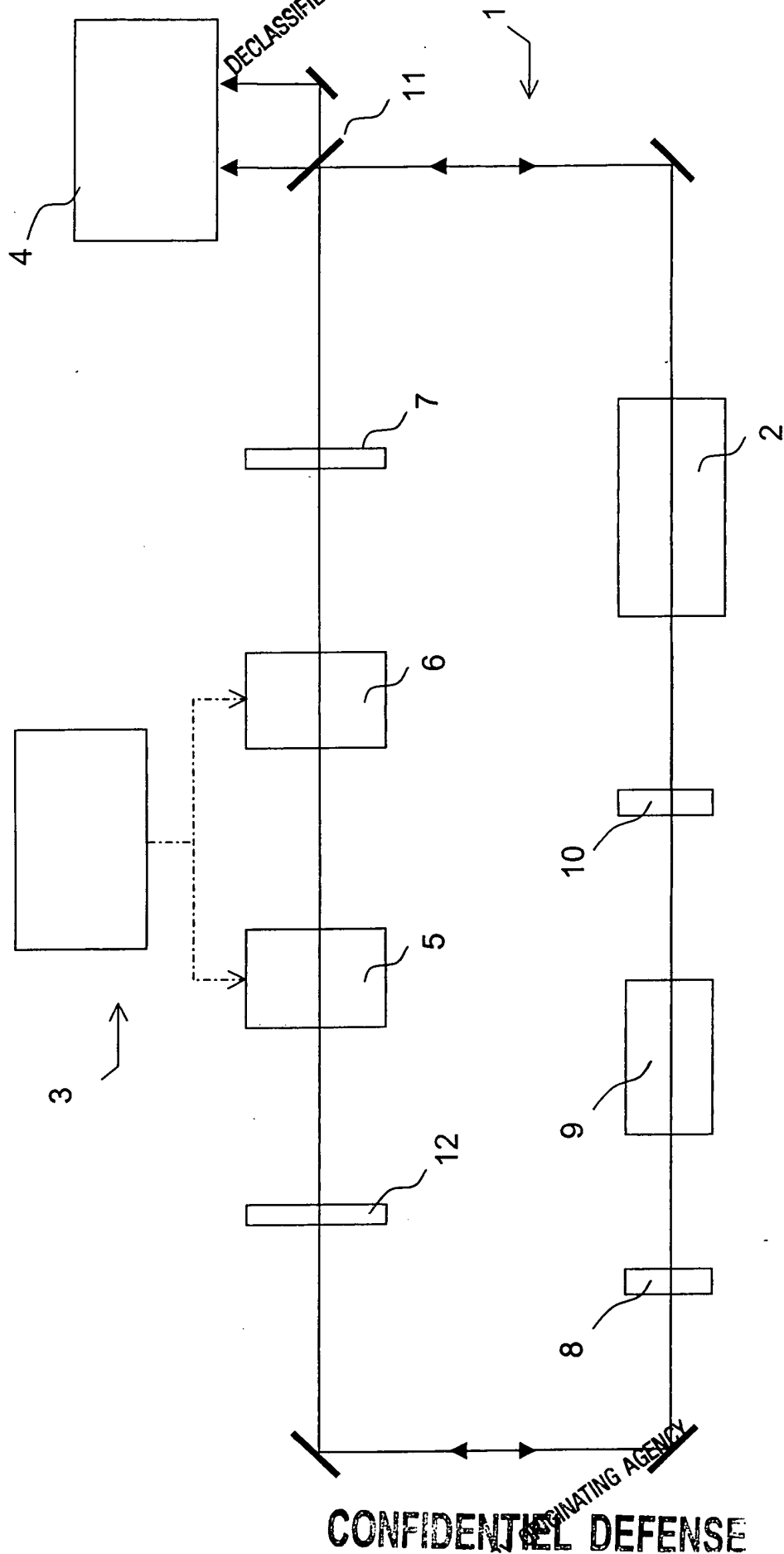
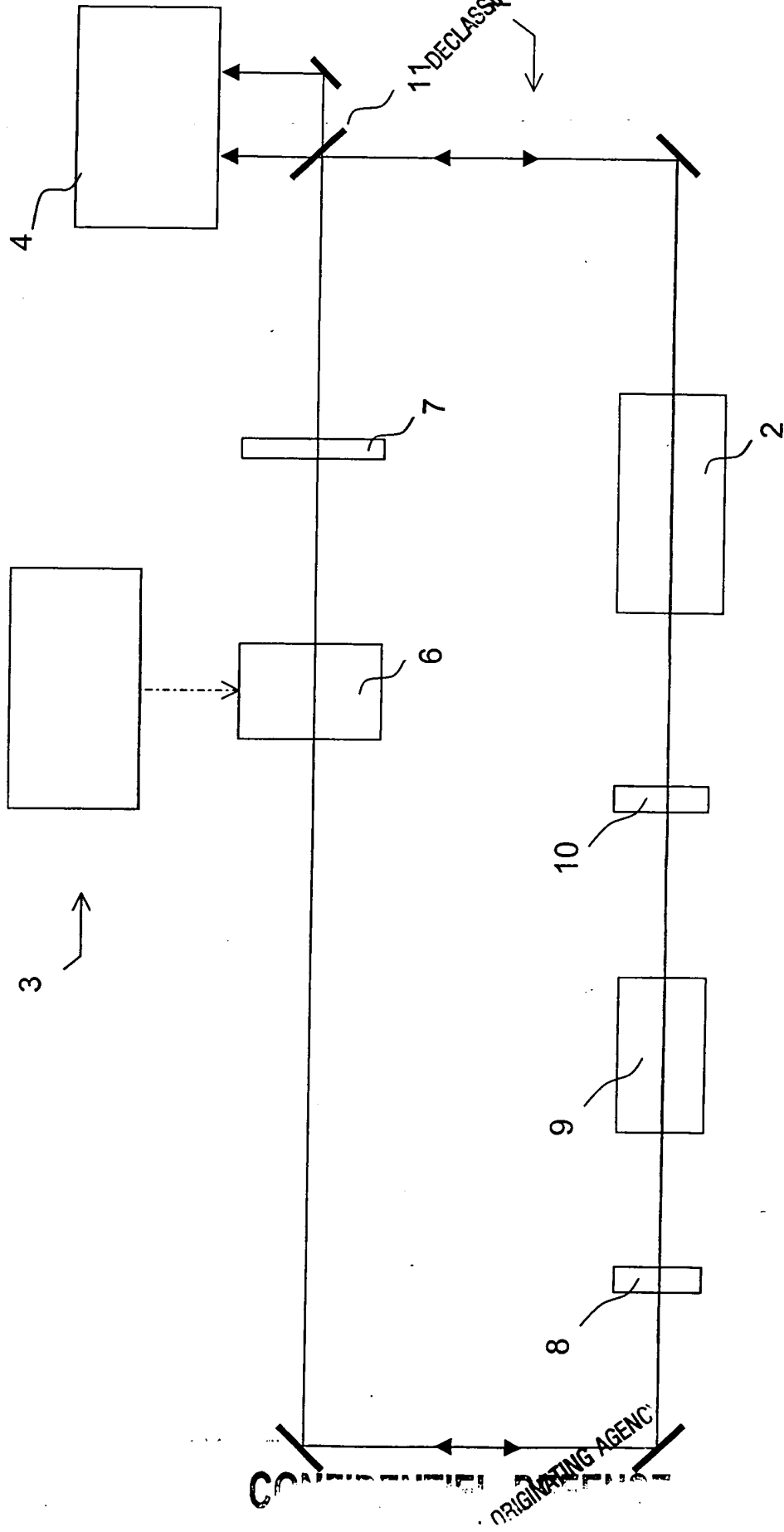


FIG.6

CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY



CONFIDENTIAL DEFENSE

DECLASSIFIED BY ORIGINATING AGENCY

OBLON, SPIVAK, MCCLELLAND, MAIER & NEUSTADT, P.C.
ATTORNEYS AT LAW
1940 DUKE STREET
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22314 U.S.A.

26825105-6CNF